

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 19 DEC. 2003

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

DOCUMENT DE PRIORITÉ

PRÉSENTÉ OU TRANSMIS
CONFORMÉMENT À LA
RÈGLE 17.1.a) OU b)

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersburg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23
www.inpi.fr

BEST AVAILABLE COPY



26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

N° 11354*03

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

page 1/2


BR1

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 540 0 3 / 210502

REMISE DES PIÈCES DATE 20 DEC 2002 LIEU 75 INPI PARIS N° D'ENREGISTREMENT 0216279 NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI 20 DEC. 2002		1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE PONTET ALLANO & Associés Selarl 25 rue Jean Rostand Parc Club Orsay Université 91893 ORSAY Cedex	
Vos références pour ce dossier (facultatif) IFB02 MKT TBL			
Confirmation d'un dépôt par télécopie		<input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie	
2 NATURE DE LA DEMANDE		Cochez l'une des 4 cases suivantes	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
Demande de brevet initiale		N°	Date
ou demande de certificat d'utilité initiale		N°	Date
Transformation d'une demande de brevet européen		<input type="checkbox"/>	Date
Demande de brevet initiale		N°	Date
3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) " Tête optique confocale, notamment miniature, à balayage intégré et système d'imagerie confocale mettant en oeuvre ladite tête "			
4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation _____ N° _____ Date _____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date _____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date _____ <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
5 DEMANDEUR (Cochez l'une des 2 cases)		<input checked="" type="checkbox"/> Personne morale <input type="checkbox"/> Personne physique	
Nom ou dénomination sociale		MAUNA KEA TECHNOLOGIES	
Prénoms			
Forme juridique		Société par actions simplifiée	
N° SIREN		_____	
Code APE-NAF		_____	
Domicile ou siège	Rue	9 rue d'Enghien	
	Code postal et ville	17 5 0 1 0 PARIS	
	Pays	FRANCE	
Nationalité		Française	
N° de téléphone (facultatif)		N° de télécopie (facultatif)	
Adresse électronique (facultatif)			
<input type="checkbox"/> S'il y a plus d'un demandeur, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»			

Remplir impérativement la 2^{ème} page

REMISE DES PIÈCES DATE 20 DEC 2002 LIEU 75 INPI PARIS N° D'ENREGISTREMENT 0216279 NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		Réservé à l'INPI	
6 MANDATAIRE (s'il y a lieu) Nom Prénom Cabinet ou Société N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel Adresse Rue Code postal et ville Pays N° de téléphone (facultatif) N° de télécopie (facultatif) Adresse électronique (facultatif)		PONTET ALLANO & Associés Selarl 25 rue Jean Rostand Parc Club Orsay Université 91180 ORSAY FRANCE 01 69 33 21 21 01 69 41 95 88	
7 INVENTEUR (S) Les demandeurs et les inventeurs sont les mêmes personnes		Les inventeurs sont nécessairement des personnes physiques <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non : Dans ce cas remplir le formulaire de Désignation d'inventeur(s)	
8 RAPPORT DE RECHERCHE Établissement immédiat ou établissement différé		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation) <input checked="" type="checkbox"/>	
Paiement échelonné de la redevance (en deux versements)		Uniquement pour les personnes physiques effectuant elles-mêmes leur propre dépôt <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition) <input type="checkbox"/> Obtenue antérieurement à ce dépôt pour cette invention (joindre une copie de la décision d'admission à l'assistance gratuite ou indiquer sa référence) : AG [] [] [] [] []	
10 SÉQUENCES DE NUCLEOTIDES ET/OU D'ACIDES AMINÉS Le support électronique de données est joint La déclaration de conformité de la liste de séquences sur support papier avec le support électronique de données est jointe		<input type="checkbox"/> Cochez la case si la description contient une liste de séquences <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes			
11 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire) Isabelle de Saint Viance CPI 94 10 01		VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI  IFB02 MKT TBL	

«Tête optique confocale, notamment miniature, à balayage intégré et système d'imagerie confocale mettant en œuvre ladite tête »

La présente invention concerne une tête optique confocale, notamment miniature, comprenant des moyens de balayage de faisceau intégré et un système d'imagerie confocale équipé de ladite tête.

Plus précisément, la présente invention vise une tête optique et un système optique correspondant, dans lesquels un champ à imager dans un échantillon est balayé point à point par un signal d'excitation. Ce type de système permet d'obtenir, grâce à un traitement informatique, une image confocale construite en temps réel point à point. Le caractère confocal est obtenu grâce à un filtrage spatial permettant de détecter un signal de retour provenant uniquement du point excité de l'échantillon empruntant le même chemin optique que le signal d'excitation.

Un des domaines d'application visé est celui de l'imagerie confocale haute résolution, permettant d'observer et d'analyser un tissu biologique in vivo in situ en temps réel, notamment accessible via le canal opérateur d'un endoscope ou intégré à l'endoscope. L'invention peut également s'appliquer aux domaines de la dermatologie ou de la gynécologie nécessitant une miniaturisation moins poussée de la tête optique. Elle peut également encore s'appliquer au domaine de l'électronique par exemple pour le contrôle de semi-conducteurs ou matériaux similaires.

Selon un premier type de système, notamment décrit dans la demande de brevet WO 00/16151, on utilise un guide d'image, constitué d'un faisceau de fibres optiques souples, comportant à son extrémité distale une tête optique de focalisation destinée à venir en contact de l'échantillon à analyser. Les moyens de balayage du faisceau d'excitation sont situés à l'extrémité proximale du guide d'image prévus pour balayer tour à tour les fibres. Le caractère confocal réside ici notamment dans le fait que la même fibre optique du guide est utilisée pour véhiculer le signal d'excitation et le signal de retour émis. Ce type de système présente l'avantage d'une tête optique simplifiée du point de vue mécanique et comportant ainsi essentiellement des

moyens optiques de focalisation pouvant être miniaturisés. En revanche, il présente certains inconvénients, liés à l'utilisation d'une matrice de fibres optiques, notamment le problème de l'échantillonnage du tissu (continuité entre les points d'excitation correspondant à l'éclairage d'une fibre), le problème de l'injection des fibres une à une et des réflexions parasites à l'entrée et à la sortie du guide d'image, le traitement sophistiqué informatique de l'image nécessaire pour corriger ensuite le motif des fibres sur l'image, etc.

Selon un autre type de système connu, les moyens de balayage du faisceau sont situés dans la tête optique à l'extrémité distale d'un guide d'image comprenant une unique fibre optique souple. Le caractère confocal est ici obtenu grâce au fait que la fibre optique est utilisée pour véhiculer le signal d'excitation et de retour émis avec un diamètre de cœur de la fibre approprié.

Les inconvénients de ce type de système sont alors essentiellement liés aux difficultés pour miniaturiser la tête, à la reproductibilité et la fiabilité des moyens mécaniques utilisés pour réaliser le balayage du faisceau émergent de la fibre optique.

Le document US 6,091,067 décrit un système de balayage dans lequel une fibre optique est fixée à deux cales piézoélectriques bimorphes, l'une des cales est placée dans la direction axiale de la fibre et l'autre dans la direction perpendiculaire à l'axe optique. Les cales, pour offrir un débattement approprié par rapport au champ d'observation, doivent présenter une longueur donnée. Perpendiculairement à l'axe de la fibre optique, cette contrainte de longueur conduit en fait à un diamètre de tête optique trop important pour les applications in vivo in situ visées selon la présente invention.

Plusieurs documents décrivent des têtes optiques miniatures confocales mettant en œuvre des micro miroirs de type micromécaniques (MEMs).

La demande de brevet US 2002/00182276 décrit un système confocal miniature utilisant une fibre optique. La lumière sortant de la fibre est réfléchi sur la partie métallisée d'une lentille. Cette lumière vient ensuite se réfléchir sur un micro miroir MEMs à deux dimensions entourant la fibre. La lumière est

alors envoyée vers l'échantillon via un système optique. La lumière revenant de l'échantillon suit le chemin inverse et repasse par la fibre qui sert de filtrage spatial. Le système est miniature, présentant 2 mm de diamètre et 2,5 mm de longueur.

5 Les brevets US 6,154,305, US 6,088,145, US 6,007,208, US 5,907,425 et US 5,742,419, décrivent une tête confocale dans laquelle le balayage du champ d'observation est réalisé par deux micro miroirs MEMs pivotés électrostatiquement. La tête proposée est miniaturisable mais en revanche offre un champ d'observation de $60 \times 60 \mu\text{m}$ trop petit par rapport
10 aux applications visées selon l'invention correspondant à un champ au minimum de $100 \times 100 \mu\text{m}$ pour pouvoir observer par exemple plusieurs noyaux de $5 \mu\text{m}$ de diamètre espacés en général de plusieurs dizaines de μm . Le nombre d'image par seconde de 5 à 8 est par ailleurs encore insuffisant pour une imagerie en temps réel (nécessitant un minimum de 10 à 12 images
15 par secondes en mode le plus lent de 640 lignes). Par ailleurs encore, le champ d'observation se trouve parallèle à l'axe de la fibre optique, ce qui peut conduire à des difficultés pratiques d'utilisation (positionnement correct de la sonde).

Les brevets US 6,172,789 et US 6,057,952 décrivent une tête optique
20 confocale avec un champ d'observation cette fois dans l'axe de la fibre optique et permettant un réglage de la profondeur du plan d'observation. Les moyens de balayage comprennent un miroir mobile et un miroir fixe. Le miroir mobile a une ouverture en son centre, et il est de type MEMs, monté de manière à pouvoir pivoter au moins selon une direction. Les surfaces de
25 réflexion des miroirs mobile et fixe sont situées face à face. La lumière sortant de la fibre optique passe à travers l'ouverture du miroir mobile, puis est réfléchi par le miroir fixe en direction du miroir mobile. On rencontre notamment les inconvénients suivants avec une telle construction de tête : un coût important pour le miroir mobile percé au centre, et également la vitesse
30 de balayage d'un tel miroir MEMs à deux dimensions qui n'est pas suffisante pour une imagerie en temps réel.

D'une manière générale, le changement de direction du faisceau optique par des réflexions successives sur des micro-miroirs entraîne des défauts optiques compliqués à corriger, notamment de la distorsion ou de la courbure de champ.

- 5 La présente invention a pour but de pallier ces inconvénients et proposer une tête optique qui soit haute résolution, confocale (offrant une résolution optique axiale sensiblement de 1 à 2 μm) et qui comporte des moyens de balayage intégrés d'un faisceau d'excitation. Selon d'autres objectifs, la tête optique doit pouvoir être miniaturisée (ne dépassant pas 3
- 10 mm de diamètre total), permettre la réalisation d'une image en temps réel (au moins 10 images/s) et couvrir un champ à imager de l'ordre au minimum de 100 x 100 μm et de préférence de 150 x 150 μm .

Elle propose une tête optique confocale miniature pour un système d'imagerie confocale, notamment endoscopique, ladite tête comprenant :

- 15 - une source ponctuelle produisant un faisceau d'excitation ;
- des moyens optiques adaptés notamment à faire converger ledit faisceau optique en un point d'excitation situé dans un plan subsurfacique par rapport à la surface d'un échantillon, ledit plan étant perpendiculaire à l'axe optique de la tête optique ; et
- 20 - des moyens de balayage dudit point d'excitation de manière à décrire un champ d'observation dans ledit plan subsurfacique selon deux directions de balayage perpendiculaires, un balayage rapide en ligne et un balayage lent en colonne,
- caractérisée par des moyens micro systèmes mécaniques MEMs adaptés à
- 25 déplacer en translation selon un débattement choisi au moins l'un des moyens optiques qui est mobile selon une direction perpendiculaire audit axe optique de manière à obtenir au moins une desdites directions de balayage.

Selon l'invention, un balayage latéral de faisceau est réalisé en déplaçant latéralement par rapport à l'axe optique l'une des optiques de

30 transmission, l'axe optique de la tête optique n'est ainsi modifié que latéralement et non angulairement comme avec des optiques de réflexion.

Cela a pour avantages de conserver un éclairage axial de l'échantillon et de minimiser le diamètre de la tête optique.

Les moyens micro systèmes mécaniques appartiennent à la famille des micro composants, connus sous le nom générique de MEMs, permettant de
5 réaliser des balayages, des switches, des déflexions (notamment de miroirs) etc., actionnés sous l'impulsion généralement d'un champ électrique.

Les moyens MEMs pouvant être utilisés selon l'invention sont notamment les suivants :

- 10 - les actionneurs électrostatiques utilisant la force d'attraction entre deux charges ;
- les actionneurs thermiques utilisant un gradient de température ou la différence de coefficient de dilatation thermique entre deux matériaux, un courant électrique créant par exemple l'élévation de température ;
- 15 - les actionneurs magnétiques utilisant la force résultante de l'interaction de deux champs magnétiques ; généralement, un champ externe et un champ interne au MEMs sont appliqués, par exemple une bobine créant un champ externe lorsqu'un courant électrique la traverse.

Les MEMs présentent un temps de réponse compatible avec le déplacement d'une optique, notamment une lentille, sur une distance
20 correspondant, au grandissement près, à la dimension du champ à imager visée selon l'invention, à savoir de l'ordre de 150 μm , et à une vitesse permettant au choix un balayage lent compris sensiblement entre 10 et 15 Hz, correspondant au balayage en colonne du champ à imager, ou rapide sensiblement de 4 kHz, correspondant au balayage en ligne du champ. Les
25 MEMs ont par ailleurs des dimensions compatibles avec une miniaturisation de la tête optique, de l'ordre de 2 à 3 mm de diamètre total, comme le montre la description détaillée donnée plus loin. Ils permettent d'imprimer un mouvement stable et répétable des optiques. De préférence, dans ce sens, les moyens MEMs utilisés selon l'invention sont constitués de moyens de
30 déplacement, par exemple des paires de peignes électrostatiques, disposés de manière diamétralement opposée et actionnés selon différents modes,

simultanément ou en alternance. Il existe également d'autres systèmes de MEMs en forme d'anneau dans l'ouverture duquel une lentille peut être assujettie et fonctionnant également en alternance pour imprimer un mouvement en translation en va et vient.

5 La source ponctuelle peut être fibrée, et donc déportée, : l'extrémité d'une fibre optique souple connectée à une source laser est assujettie à la tête optique. La source peut également être constituée d'un composant VCSEL (« Vertical-Cavity Semiconductor Emitting laser » en langue anglaise) qui est une source laser quasiment ponctuelle ayant une cavité dont la sortie
10 mesure quelques microns de diamètre. Dans les deux cas, la dimension de la source (diamètre de cœur de la fibre optique ou diamètre de sortie de la cavité du composant VCSEL) est choisie pour pouvoir servir de trou de filtrage du signal rétro-émis et réaliser une image confocale. Si l'on utilise une source VCSEL, un détecteur est placé juste derrière la cavité pour construire la voie
15 de détection. Par ailleurs, l'ouverture numérique de la source, fibrée ou VCSEL, est choisie pour collecter le maximum de photons émis par chaque spot d'excitation, typiquement comprise entre 0,2 et 0,4.

Les moyens optiques utilisés dans la tête optique comprennent généralement des premiers moyens optiques, placés à une distance focale
20 choisie de la source ponctuelle, adaptés à transformer le faisceau d'excitation sortant de la source, qui est divergent du fait de l'ouverture numérique de la source, en un faisceau parallèle ou légèrement divergent. Ces moyens optiques sont constitués d'une lentille ou d'un jeu de lentilles réfractives (standards ou à gradient d'indice) et/ou diffractives. Les lentilles diffractives
25 présentent l'avantage d'être plus petites et plus légères. Des deuxièmes moyens optiques placés à une distance focale choisie des premiers moyens optiques ont pour fonction ensuite de focaliser le faisceau optique en un point d'excitation situé dans le plan subsurfacique d'observation. Ces moyens optiques peuvent également être constitués d'une lentille ou d'un jeu de
30 lentilles réfractives et/ou diffractives.

De préférence, des moyens MEMs sont mis en œuvre selon l'invention pour déplacer les premiers moyens optiques plutôt que les seconds moyens optiques et à une fréquence permettant de réaliser le balayage en colonne lent. Le balayage des seconds moyens optiques entraînerait des aberrations optiques supplémentaires du fait de leur grande ouverture numérique sur l'échantillon.

Pour ce qui est du balayage rapide en ligne, selon l'invention, celui-ci peut être réalisé soit en déplaçant la source, à l'aide par exemple de moyens piézo-électriques adaptés, soit avec une source fixe et un déplacement des deuxièmes moyens optiques également à l'aide de moyens MEMs appropriés et selon une direction perpendiculaire au déplacement des premiers moyens optiques.

Un balayage supplémentaire en z, pour modifier la profondeur de visualisation, peut en outre être prévu dans la tête optique selon l'invention, par exemple à l'aide de moyens MEMs adaptés à déplacer l'un des moyens optiques mobiles selon l'axe optique de la tête optique, ou à l'aide de moyens adaptés à modifier le rayon de courbure de l'un des moyens optiques, de préférence celui le plus proche de l'échantillon. Un tel balayage permet avantageusement de recréer par traitement informatique une image en 3D.

La présente invention propose également un système d'imagerie confocale mettant en œuvre une tête optique telle que définie ci-dessus. Selon un premier exemple, le système comprend une source fibrée. Selon un second exemple, il comprend une source de type VCSEL associée à des moyens de détection intégrés dans la tête optique et des moyens de liaison souple entre ladite tête et les moyens de traitement informatique de signal.

La présente invention sera mieux comprise et d'autres avantages apparaîtront plus clairement à la lumière de la description qui va suivre d'exemples de réalisation, description faite en référence aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 est un schéma général d'un exemple de système d'imagerie confocale fibrée mettant en œuvre la tête miniature selon l'invention ;

- la figure 2 est une vue en coupe de côté d'une tête miniature selon un premier exemple de réalisation ;

- la figure 3 est un schéma optique de la tête miniature de la figure 2;
et

5 - la figure 4 est une vue similaire à la figure 2 illustrant un deuxième mode de réalisation possible.

La figure 1 représente schématiquement un système d'imagerie confocale fibrée pouvant inclure une tête miniature selon l'invention.

Le système comprend une source 1, par exemple une source laser,
10 adaptée à émettre un signal d'excitation à une longueur d'onde capable de générer dans un échantillon un signal de retour de fluorescence ou de rétrodiffusion, ledit signal étant transporté par une première fibre optique monomode 2a jusqu'à des moyens de couplage 3, par exemple un coupleur 50/50 de fibre, prévus pour diriger le signal d'excitation provenant de la
15 source 1 dans une fibre optique monomode 2b au bout de laquelle se trouve la tête optique miniature 4 selon l'invention et pour diriger le signal de retour provenant du site excité vers des moyens de détection 5, par exemple un photodétecteur, à l'aide d'une troisième fibre optique monomode 2c. Le système comprend des moyens 6 électroniques de contrôle, de commande et
20 de synchronisation, permettant de piloter la source 1, les moyens de balayage de la tête optique 4 et les moyens de détection 5, de manière synchronisée, afin notamment de connaître l'emplacement du signal dans l'échantillon pour permettre la construction d'une image en temps réel. Le système comprend en outre des moyens 7 électroniques d'amplification, de mise en forme et de
25 conversion A/N du signal détecté par les moyens de détection 5, des moyens 8 informatiques comprenant une carte d'acquisition et une carte graphique et des moyens d'affichage 9 des images obtenues.

Ce système fonctionne globalement de la manière suivante : la tête optique miniature 4 est mise au contact d'un échantillon à analyser, par
30 exemple via le canal opérateur d'un endoscope. La source 1 envoie un signal d'excitation à une longueur d'onde choisie dans la portion de fibre 2a. Le

coupleur 3 dirige le signal d'excitation dans la portion de fibre 2b conduisant le signal dans la tête optique 4 où il est balayé et focalisé sur une surface d'analyse (ou champ d'analyse) dans un plan de l'échantillon perpendiculaire à l'axe optique défini par la fibre optique 2b, à une profondeur donnée dans l'échantillon. Un signal de retour issu de la surface balayée dans l'échantillon suit le chemin inverse du signal d'excitation jusqu'au coupleur 3 : il est capté par les moyens optiques de la tête optique 4, recouplé dans la portion de fibre 2b, puis dirigé par le coupleur 3 dans la portion de fibre 2c vers le détecteur 5. Le signal détecté est amplifié et converti en un signal numérique, puis traité de manière informatique pour constituer pour finir un élément d'image affichée en temps réel.

La tête miniature selon l'invention est maintenant décrite en détails en référence à l'exemple de réalisation choisi et représenté à la figure 2.

La tête comprend, dans une structure de support mécanique 15, :

- des moyens de type piézoélectriques 11 auxquels est assujettie la portion terminale de la fibre optique 2b, adaptés à déplacer cette partie terminale de fibre optique, et donc le faisceau optique sortant de celle-ci, sensiblement en translation en va et vient selon un débattement choisi D_L , sensiblement perpendiculaire à l'axe optique A défini par la fibre optique, et correspondant à un débattement sur une ligne de champ à imager (ces moyens piézoélectriques sont décrits plus loin en détails) ;

- des premiers moyens optiques 12 adaptés à convertir le faisceau sortant de la fibre 2b qui est divergent en un faisceau parallèle ou légèrement divergent, et à capter le faisceau de retour issu de l'échantillon ; ces moyens optiques sont selon l'invention mobiles en translation, de manière à déplacer le faisceau optique selon un débattement choisi, schématisé selon la double flèche D_c , perpendiculairement au débattement D_L , et correspondant à un débattement sur une colonne de champ à imager ;

- des moyens micro-mécaniques de type MEMs, 14a et 14b, adaptés à déplacer en va et vient les moyens optiques 12 selon le débattement D_L (ces moyens sont décrits plus loin en détails) ;

- des second moyens optiques fixes 13 adaptés à faire converger ledit faisceau parallèle pour le focaliser en un point ou spot S dans un plan P de l'échantillon E examiné situé à une profondeur donnée et sensiblement perpendiculaire à l'axe optique A.

5 Les moyens piézoélectriques 11 et les moyens MEMs 14a et 14b permettent ainsi conjointement de réaliser le balayage du faisceau focalisé sur le champ à imager, les moyens piézoélectriques 11 servant à réaliser un balayage rapide en ligne et les moyens MEMs 14a et 14b servant à réaliser un balayage lent en colonne.

10 La structure de support mécanique 15 est constituée d'un corps creux 16, par exemple un porte-optiques tubulaire, avec à une extrémité un hublot d'étanchéité 17, destiné à venir au contact de l'échantillon E, adapté à être traversé par les signaux d'excitation et en retour de rétro-diffusion ou de fluorescence, et avec à son autre extrémité un passage 18 pour la portion
15 terminale de la fibre optique 2b et également pour les moyens piézoélectriques 11. Une paroi de côté 19 entoure le passage 18 pour fermer la tête optique de manière étanche. Les moyens optiques fixes 13 sont fixés et centrés par rapport à l'axe optique A à l'intérieur du corps 16, et les moyens optiques mobiles 12 sont reliés à la face intérieure du corps 16 via
20 les moyens MEMs 14a et 14b comme cela est expliqué plus loin en détails.

La fibre optique 2b couplée à la tête optique est de préférence monomode, permettant une illumination de l'échantillon la plus homogène possible. L'ouverture numérique de la fibre est choisie pour être la plus grande possible pour permettre une collecte optimisée de photons, et pour permettre,
25 conjointement avec un diamètre de cœur approprié, un couplage du signal de retour dans la fibre, et donc un filtrage spatial, qui soit le meilleur possible. Typiquement, l'ouverture numérique est de 0,4 et le diamètre de cœur compris entre 1 et 2 μm . Ce choix de caractéristiques pour la fibre optique, conjointement avec les caractéristiques des moyens optiques 12 et 13,
30 permettent de réaliser un filtrage spatial du signal de retour assurant la confocalité du système.

Selon l'exemple choisi, les moyens piézo-électriques 11 sont constitués d'une cale piézo-électrique présentant une surface sur laquelle est assujettie, par exemple par collage, la partie terminale de la fibre optique 2b avec une portion d'extrémité de la fibre dépassante. Cette cale 11 est double, appelée
5 aussi bimorphe, ayant la particularité de se déformer lorsqu'on lui applique une tension électrique cela permet de déplacer la fibre optique entre une position non excitée ou de repos de la cale et une position excitée correspondant à l'excitation de la cale. La cale 11 est choisie de manière à présenter un débattement entre ces deux positions correspondant, au
10 grandissement près, à la largeur du champ que l'on veut imager dans l'échantillon. En outre, la cale 11 est choisie de manière à pouvoir être excitée à une fréquence permettant de réaliser le balayage rapide souhaité en ligne de l'échantillon. En outre, pour une cale de longueur donnée, compatible au maximum avec une miniaturisation, une amplitude de balayage maximum, peut être obtenue en excitant la cale à sa fréquence de résonance.
15 Typiquement, une cale de 7,5 mm de longueur, excitée avec une tension sinusoïdale d'excitation de $\pm 60V$, permet d'atteindre une fréquence de résonance de 4kHz, permettant de réaliser un balayage ligne à une vitesse appropriée à l'imagerie en temps réel (au moins 10 images / s), sur un champ
20 imagé de $150 \mu m$ de largeur (avec un grandissement unitaire). Cette longueur est compatible avec la dimension totale maximale pour la tête de sensiblement 30 mm. La largeur de la cale (dimension perpendiculairement à la fibre optique) n'influe pas sur la résonance, ni sur l'amplitude de balayage. Typiquement, la largeur de la cale peut être de quelques centaines de
25 microns, ne dépassant pas le diamètre total maximal extérieur prévu pour la tête, sensiblement de 2 à 3 mm. Pour tenir compte d'un grandissement supérieur à 1, pour une dimension de champ imagé donné, on peut choisir une cale piézo-électrique de plus grande longueur pour avoir un débattement plus grand et possédant une plus grande tension d'excitation ($\pm 100V$ à
30 $\pm 120V$). Le système comprend en outre les moyens de sécurité nécessaires à l'utilisation de tensions électriques de cet ordre pour des applications in vivo.

Les moyens MEMs 14a et 14b servent à déplacer latéralement les moyens optiques mobiles 12 dans une direction perpendiculaire à celle du mouvement de la fibre impartie par les moyens piézo-électriques. Plus particulièrement selon l'exemple choisi et représenté sur les figures, les moyens optiques mobiles 12 étant constitués d'une lentille simple, les moyens MEMs comprennent deux paires de peignes 14a et 14b, diamétralement opposées, chaque paire de peigne comprend un peigne assujéti à ladite lentille 12 et un peigne assemblé avec le corps 16. Les peignes sont des filaments de semi-conducteur qui sont alignés et les deux peignes d'une paire ont leurs filaments qui se chevauchent. Le mouvement de la lentille 12 est obtenu en décalant un peigne par rapport à l'autre grâce à un effet électrostatique. Le mouvement transversal réalisé grâce aux paires de peignes est perpendiculaire à l'axe de la fibre. Il est réalisé à une fréquence lente (typiquement de 10 à 15 Hz) et permet de réaliser une taille de champ
15 imagé de $150\text{ }\mu\text{m}$ en choisissant l'amplitude de balayage appropriée.

L'optique mobile 12 a pour fonction de transformer le faisceau divergent émergent de la fibre optique 2b en un faisceau parallèle ou divergent. Elle doit répondre à des contraintes de dimensions : son diamètre doit être compatible avec une miniaturisation de la tête qui doit présenter un
20 diamètre total extérieur de 2 à 3 mm maximum. Elle doit répondre à des contraintes mécaniques et être suffisamment solide et résistante pour pouvoir être solidaire des moyens MEMs 14 et actionnée en translation. Elle doit répondre également à des contraintes optiques : son diamètre doit être suffisamment grand par rapport au diamètre du faisceau projeté pour le
25 champ imagé que l'on veut obtenir (on risque sinon d'observer des défauts en bord de champ (notamment du vignettage)) ; l'ouverture numérique de l'optique 12 doit être au moins égale ou de préférence supérieure à l'ouverture numérique de la fibre pour conserver la confocalité de la tête et une optimisation du nombre de photons détecté au cours du balayage. Un
30 diamètre minimum d'optique de 1mm peut être obtenu avec une ouverture numérique supérieure à 0,4 (ON de la fibre optique 2b), ce qui est compatible

avec une tête miniature de 2 à 3 mm de diamètre extérieur et l'intercalage des moyens MEMs 14. A titre d'exemple, selon un mode le plus simplifié, cette optique 12 est une lentille classique mais pourrait aussi être un doublet de lentilles ou tout autre optique usuelle permettant de conserver une taille et un poids compatibles avec les objectifs recherchés. A titre d'exemple d'optiques plus sophistiquées, on peut utiliser une lentille diffractive utilisant la diffraction pour décomposer le front d'onde du faisceau incident sur différentes zones et qui après recombinaison permet d'obtenir le front d'onde recherché. En outre, ces optiques présentent les avantages d'une grande ouverture numérique, un faible encombrement, un faible poids et un faible coût.

Les moyens optiques fixes 13 doivent permettre de focaliser le faisceau balayé en un spot S à une certaine profondeur dans l'échantillon dans un plan de focalisation et de collecter un maximum de photons provenant de chaque spot dans ce même plan de focalisation. Les caractéristiques de ces moyens optiques (notamment le grandissement et l'ouverture numérique) sont définies en tenant compte des spécifications de la fibre optique et des moyens optiques mobiles 12 afin d'assurer la confocalité à l'ensemble du système et également pour minimiser les aberrations optiques qui pourraient être engendrées par le balayage (distorsion, instabilité, décalage des moyens optiques mobiles par rapport à l'axe optique, etc.).

Le hublot de sortie 17 est la dernière interface située entre la tête optique et l'échantillon. Il a pour fonction de protéger les optiques, et également de faire une adaptation d'indice entre la tête et l'échantillon, notamment grâce à un traitement de sa face externe par exemple pour un indice de 1,33 égal à celui de l'eau. Le hublot peut également en variante être constitué d'une lentille ayant une fonction de vergence sur le faisceau optique.

Sur la figure 3 est représenté un schéma optique de la tête qui vient d'être décrite selon un exemple particulier possible, illustrant notamment le balayage en ligne de l'échantillon, sur lequel la fibre 2b est représentée

classiquement dans sa position de repos I et dans deux positions latérales extrêmes II et III.

Les spécifications optiques sont les suivantes :

- champ balayé : $2\Delta x = 400 \mu\text{m}$
- 5 - diamètre de cœur de la fibre 2b : $\varnothing_{\text{cœur}} = 1,3 \mu\text{m}$
- ouverture numérique de la fibre 2b : $\text{ON} = \sin(\alpha_1) = 0,4$
- lentille 12 : diffractive
- focale de la lentille mobile 12 : $f_{12} = 1,83\text{mm}$
- diamètre total de la lentille 12 : $\varnothing_{12} = 2\text{mm}$
- 10 - lentille 13 : diffractive
- focale de la lentille fixe 13 : $f_{13} = 0,73\text{mm}$
- diamètre total de lentille 13 : $\varnothing_{13} = 1,6\text{mm}$
- grandissement du système optique = $G = 2,5$
- champ imagé = $2\Delta x \text{ objet} = 160 \mu\text{m}$
- 15 - ouverture numérique objet = $\text{ON objet} = n \sin(\alpha_2) = 1$ (dans l'eau $n = 1,33$)
- diamètre de chaque spot S focalisé dans l'échantillon : limité par la diffraction sur tout le champ imagé.

Dans l'exemple qui vient d'être décrit, les moyens de balayage rapide
20 en ligne du spot d'excitation sont réalisés à l'aide d'une cale piézoélectrique sur laquelle est fixée l'extrémité de la fibre optique. Selon une variante de réalisation possible, la fibre optique est fixe et la lentille 13 est mobile, des moyens MEMs, similaires aux moyens 14a et 14b, étant utilisés pour déplacer la lentille optique 13 selon une direction perpendiculaire au mouvement de
25 translation de l'optique mobile 12 et selon une fréquence compatible avec un balayage rapide en ligne (4Khz). En variante encore, inversement le balayage rapide peut être réalisé en déplaçant la lentille 12 et le balayage lent la lentille 13.

Sur la figure 4, est représentée une variante encore de réalisation de la
30 tête optique de la figure 2, les moyens identiques portant les memes références qu'à la figure 2. Dans cette variante, des moyens 16a et 16b,

fixés d'un coté au tube porte optiques 15 et de l'autre à la lentille 13, sont utilisés pour déplacer ladite lentille 13 selon l'axe optique A de la tête, permettant de régler la profondeur de visualisation dans l'échantillon, sensiblement sur quelques dizaines de μm , schématisé par la double flèche Z.

5 Cela permet avantageusement de réaliser des reconstructions en trois dimensions de l'échantillon que l'on observe : on fait différentes acquisitions de données en deux dimensions à différentes profondeurs et l'on peut ensuite reconstruire le volume observé par traitement de données. Dans d'autres cas, le réglage de la profondeur de visualisation peut permettre de s'adapter

10 avantageusement à l'échantillon observé, à la profondeur optimale de visualisation de l'échantillon. Le déplacement de l'optique 13 dans la direction axiale de la tête permet de faire converger le faisceau à une distance différente. Les moyens 16a, 16b sont de type Mems ou piézo-électriques

En variante de réalisation encore, la tête optique peut comprendre à la

15 place de la fibre optique 2b une source ponctuelle de type VCSEL associée à un détecteur placé juste derrière la cavité du VCSEL. A titre d'exemple, en référence à la figure 3, les spécifications optiques suivantes peuvent être données :

- champ balayé : $2\Delta x = 400-600 \mu\text{m}$
- 20 - diamètre de l'ouverture de la cavité VCSEL : $\varnothing_{\text{cavité}} = 2-4 \mu\text{m}$
- ouverture numérique de la cavité VCSEL : $\text{ON} = \sin(\alpha_1) = 0,25$
(dans l'air)
- lentille 12 : diffractive
- focale de la lentille mobile 12 : $f_{12} = 3\text{mm}$
- 25 - diamètre total de la lentille 12 : $\varnothing_{12} = 2\text{mm}$
- lentille 13 : diffractive
- focale de la lentille fixe 13 : $f_{13} = 1,17\text{mm}$
- diamètre total de lentille 13 : $\varnothing_{13} = 1,6\text{mm}$
- grandissement du système optique : $G = 3$
- 30 - champ imagé = $2\Delta x \text{ objet} = 160-240 \mu\text{m}$

- ouverture numérique objet = $ON_{\text{objet}} = n \sin(\alpha_2) = 0.75$ (dans l'eau $n = 1,33$)
- diamètre de chaque spot S focalisé dans l'échantillon : limité par la diffraction sur tout le champ imagé.

Revendications

1. Tête optique confocale miniature (4) pour un système d'imagerie
5 confocale, notamment endoscopique, ladite tête comprenant :
 - une source ponctuelle (2b) produisant un faisceau d'excitation ;
 - des moyens optiques (12,13) adaptés notamment à faire converger ledit faisceau optique en un point d'excitation (S) situé dans un plan subsurfacique (P) par rapport à la surface d'un échantillon, ledit plan étant perpendiculaire à
10 l'axe optique (A) de la tête optique ; et
 - des moyens de balayage dudit point d'excitation de manière à décrire un champ d'observation dans ledit plan subsurfacique selon deux directions de balayage perpendiculaires, un balayage rapide en ligne et un balayage lent en colonne,
15 caractérisée par des moyens micro systèmes mécaniques MEMs (14a-b) adaptés à déplacer en translation selon un débattement choisi (Dc) au moins l'un des moyens optiques (12,13) qui est mobile selon une direction perpendiculaire audit axe optique (A) de manière à obtenir au moins une desdites directions de balayage.
- 20 2. Tête optique selon la revendication 1, caractérisée en ce que le balayage lent correspond à une fréquence sensiblement de 10 à 15 Hz et le balayage rapide à une fréquence sensiblement de 4 kHz, de manière à réaliser une image en temps réel.
3. Tête optique selon la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce que les
25 moyens MEMs (14a-b) sont adaptés à coopérer avec le moyen optique mobile (12,13) de manière diamétralement opposée et en alternance.
4. Tête optique selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisée en ce que le faisceau optique produit par la source (2b) est divergent, les moyens optiques (12,13) comprenant successivement des premiers moyens (12)
30 adaptés à transformer ledit faisceau divergent en un faisceau parallèle ou

légèrement divergent et des seconds moyens optiques (13) adaptés à former le point de focalisation subsurfacique (S).

5 5. Tête optique selon la revendication 4, caractérisée en ce que le premier moyen optique (12) est mobile, adapté à réaliser le balayage lent en colonne du faisceau optique.

6. Tête optique selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisée en ce que deux des moyens optiques (12,13) sont mobiles, adaptés à être déplacés chacun selon une direction perpendiculaire à l'axe optique de manière à définir chacun une direction de balayage.

10 7. Tête optique selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisée en ce que la source (2b) est mobile, assujettie à des moyens de type piézo-électriques (11) adaptés à déplacer le faisceau d'excitation émis par ladite source avec un débattement choisi (D_u) de manière à définir la deuxième direction de balayage.

15 8. Tête optique selon la revendication 7, caractérisée en ce que la deuxième direction de balayage et les caractéristiques des moyens piézo-électriques (11) correspondent à un balayage rapide en ligne.

9. Tête optique selon la revendication 8, caractérisée en ce que les moyens piézo-électriques comprennent une cale piézoélectrique bimorphe (11)
20 s'étendant en longueur selon l'axe optique (A) de la tête, ladite source (2b) étant fixée sur l'une des faces de ladite cale à l'extrémité avant de la cale en regard des moyens optiques (12,13).

10. Tête optique selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'elle comprend des moyens pour modifier la profondeur
25 du plan subsurfacique d'observation (P) dans l'échantillon.

11. Tête optique selon la revendication 10, caractérisée en ce que les moyens pour modifier la profondeur du plan subsurfacique d'observation (P) dans l'échantillon comprennent des moyens micro-mécaniques MEMs (16a-b) adaptés à déplacer certains des moyens optiques (13) selon l'axe optique de
30 la tête optique.

12. Tête optique selon la revendication 11, caractérisée en ce que les moyens MEMs (16a-b) sont adaptés à déplacer les deuxièmes moyens optiques de focalisation (13) pour réaliser le déplacement (Z) selon l'axe optique du faisceau optique.
- 5 13. Tête optique selon la revendication 10, caractérisée en ce que les moyens pour modifier la profondeur du plan subsurfacique d'observation (P) comprennent des moyens pour modifier le rayon de courbure de l'un des moyens optiques.
14. Tête optique selon l'une quelconque des revendications précédentes,
10 caractérisée en ce qu'elle comprend la partie terminale d'une fibre optique (2b) adaptée à conduire le signal d'excitation depuis une source extérieure, le faisceau émergent de la fibre constituant la source ponctuelle.
15. Tête optique selon la revendication 14, caractérisée en ce que la fibre optique est monomode avec un diamètre de cœur permettant un filtrage spatial du signal de retour et donc assurant la confocalité de la tête, la fibre
15 optique présentant une ouverture numérique la plus grande possible.
16. Tête optique selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, caractérisée en ce que la source est de type VCSEL, présentant une ouverture numérique et un diamètre de sortie de cavité compatible avec un système
20 confocal, et associée à un détecteur placé derrière la cavité du VCSEL.
17. Tête optique selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'elle comporte un hublot d'étanchéité (17) à la sortie de la tête optique destiné à venir au contact de l'échantillon et à réaliser une adaptation d'indice.
- 25 18. Tête optique selon la revendication 17, caractérisée en ce que le hublot a une fonction de vergence sur le faisceau optique focalisé.
19. Tête optique selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que les moyens optiques (12,13) présentent une ouverture numérique au moins égale à l'ouverture numérique de la source.
- 30 20. Système d'imagerie confocale comportant :

- une tête (4) optique confocale de focalisation à balayage de faisceau intégré;
 - une source (1,2a,2b) adaptée à émettre un faisceau d'excitation ;
 - des moyens de détection (5) d'un signal émis ;
- 5 - des moyens électroniques et informatiques de commande et de traitement du signal (6-9) émis adaptés à reconstruire une image confocale d'un champ imagé,
- caractérisé en ce que la tête optique (4) est selon l'une des revendications précédentes.
- 10 21. Système selon la revendication 20, caractérisé par une fibre optique (2a) reliée à une source laser (1) et des moyens de couplage (3) pour coupler ladite fibre (2a) avec la fibre optique de transport (2b) jusqu'à et depuis la tête optique (4) et une fibre de transport (2c) du signal émis jusqu'aux moyens de détection.
- 15 22. Système selon la revendication 20, caractérisé en ce que, la tête optique comprenant une source VCSEL et un détecteur intégré, le système comprend des moyens de liaison souple entre la tête optique et les moyens de traitement de signal.

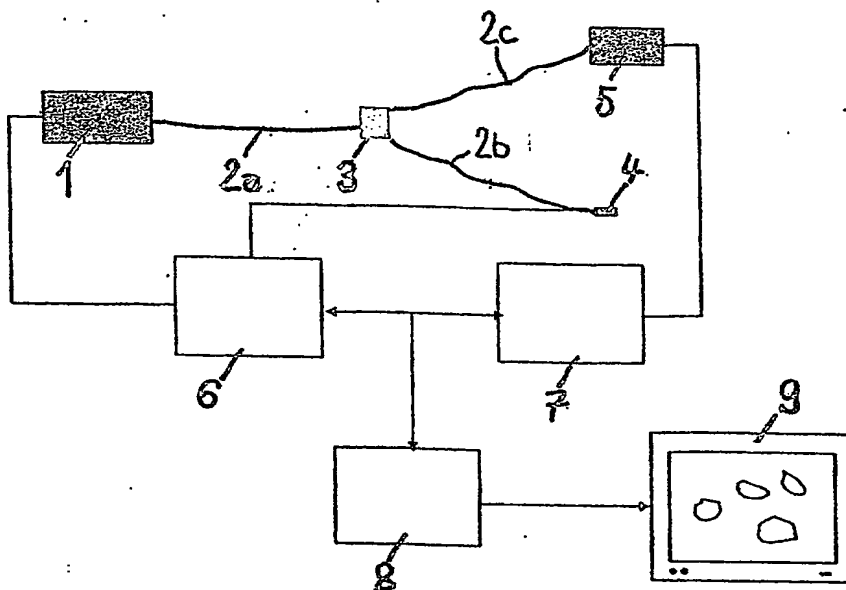


Fig 1

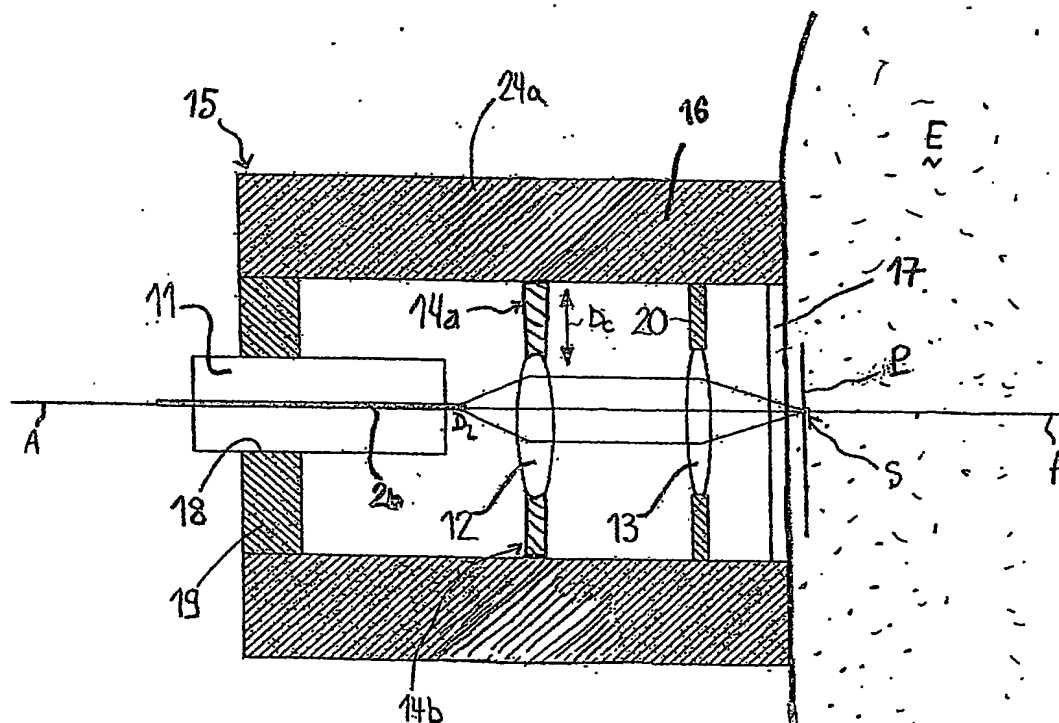


Fig 2

FIG.1

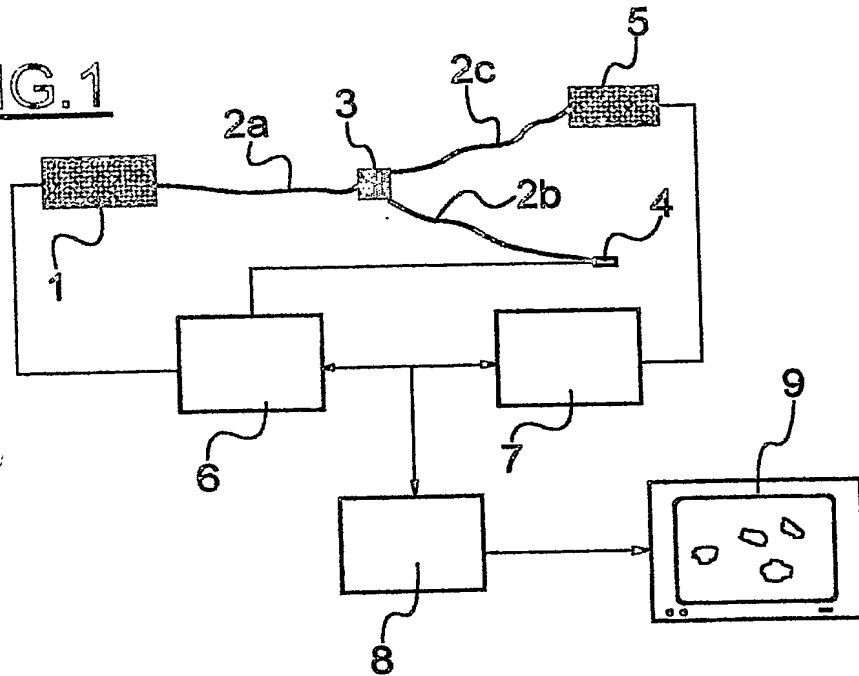
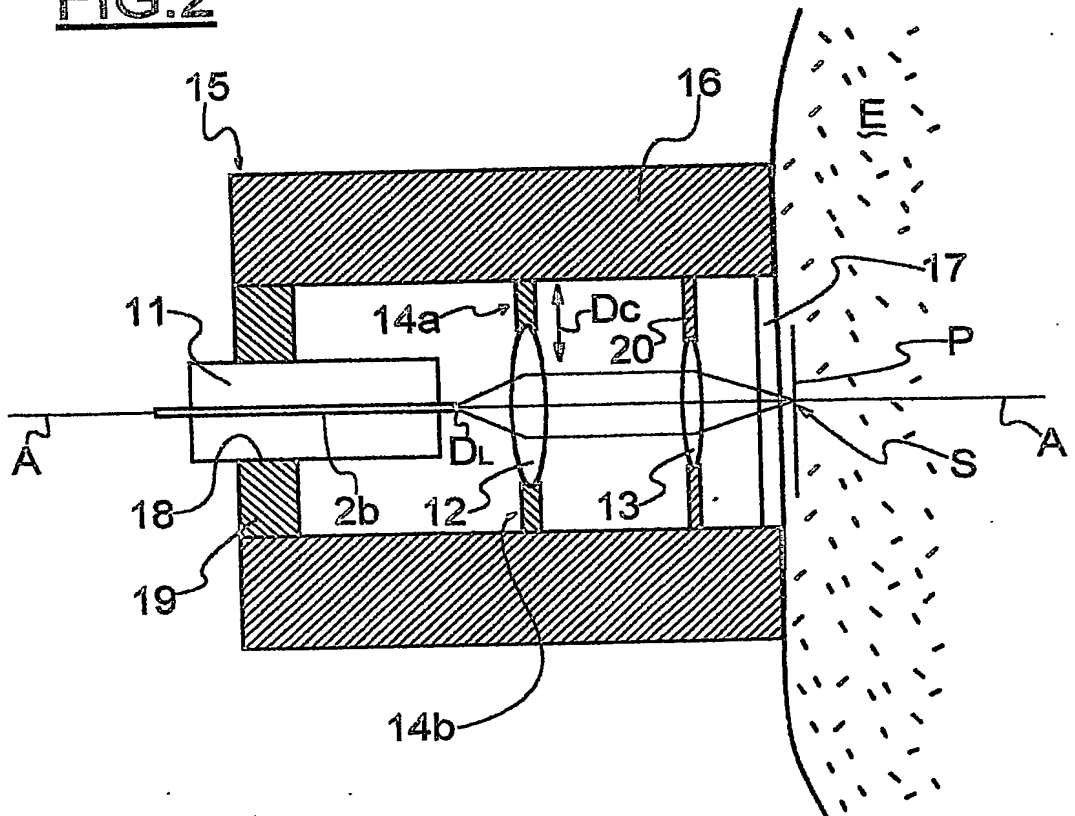


FIG.2



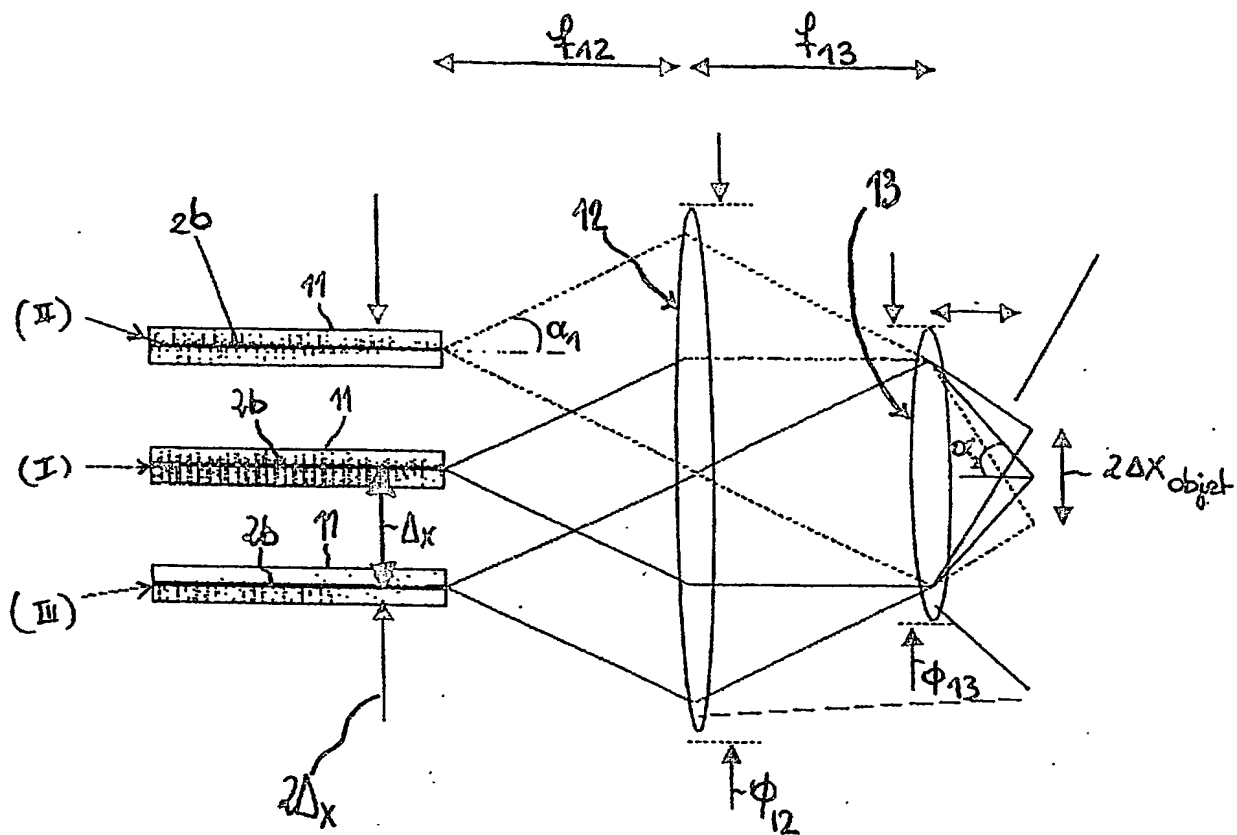


Fig 3

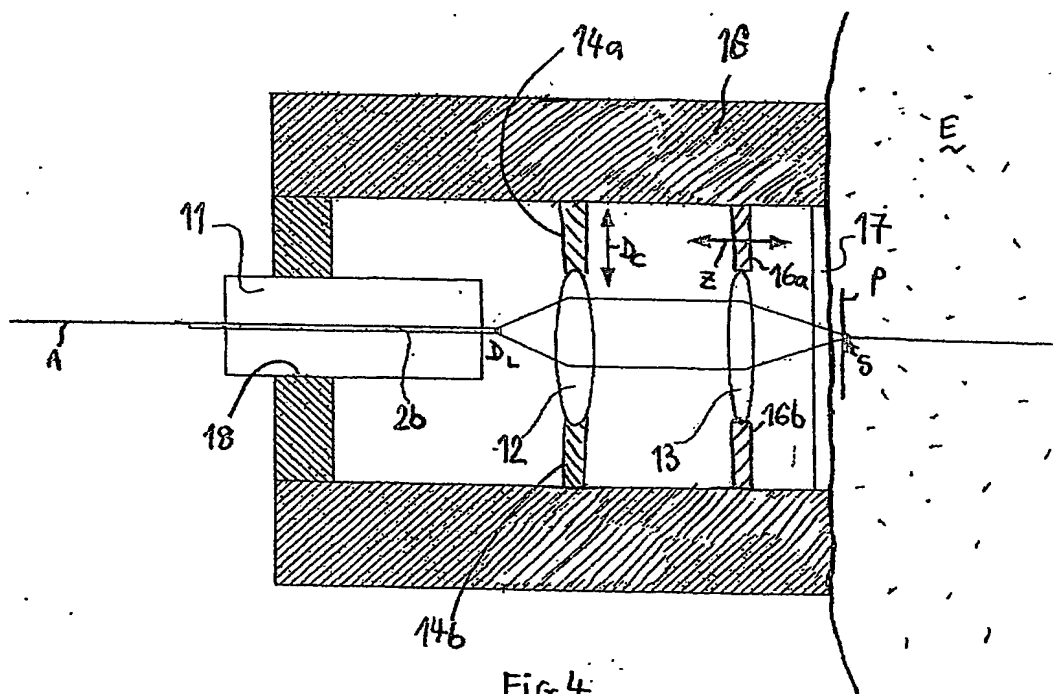


Fig 4

FIG. 3

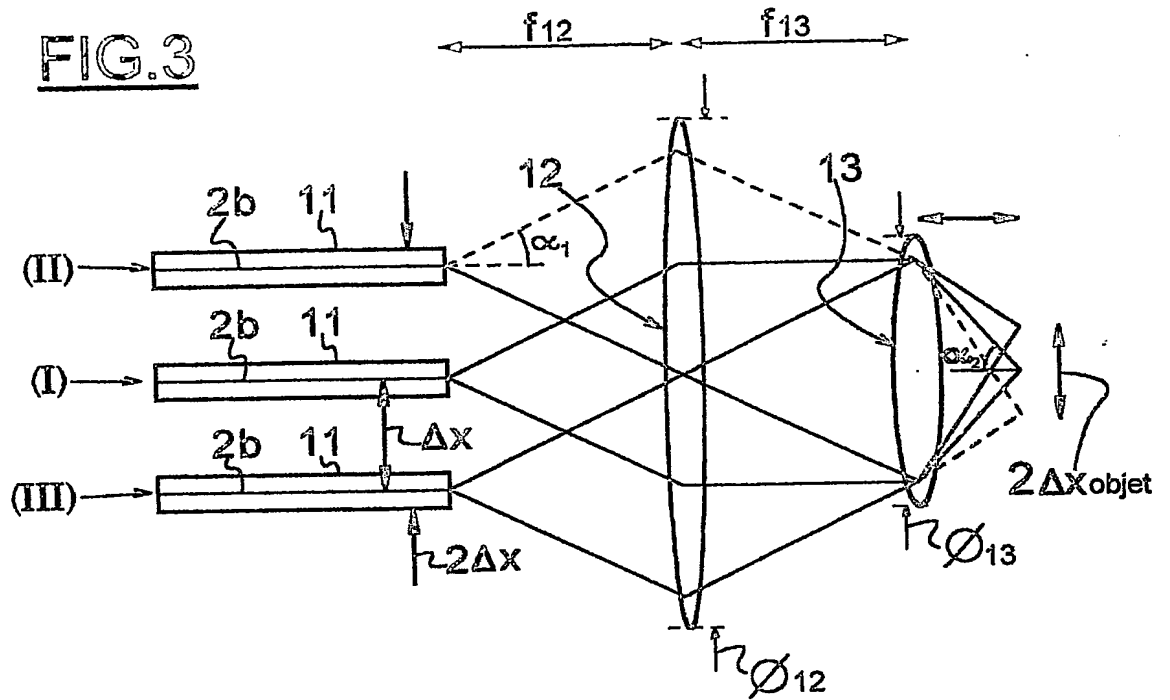
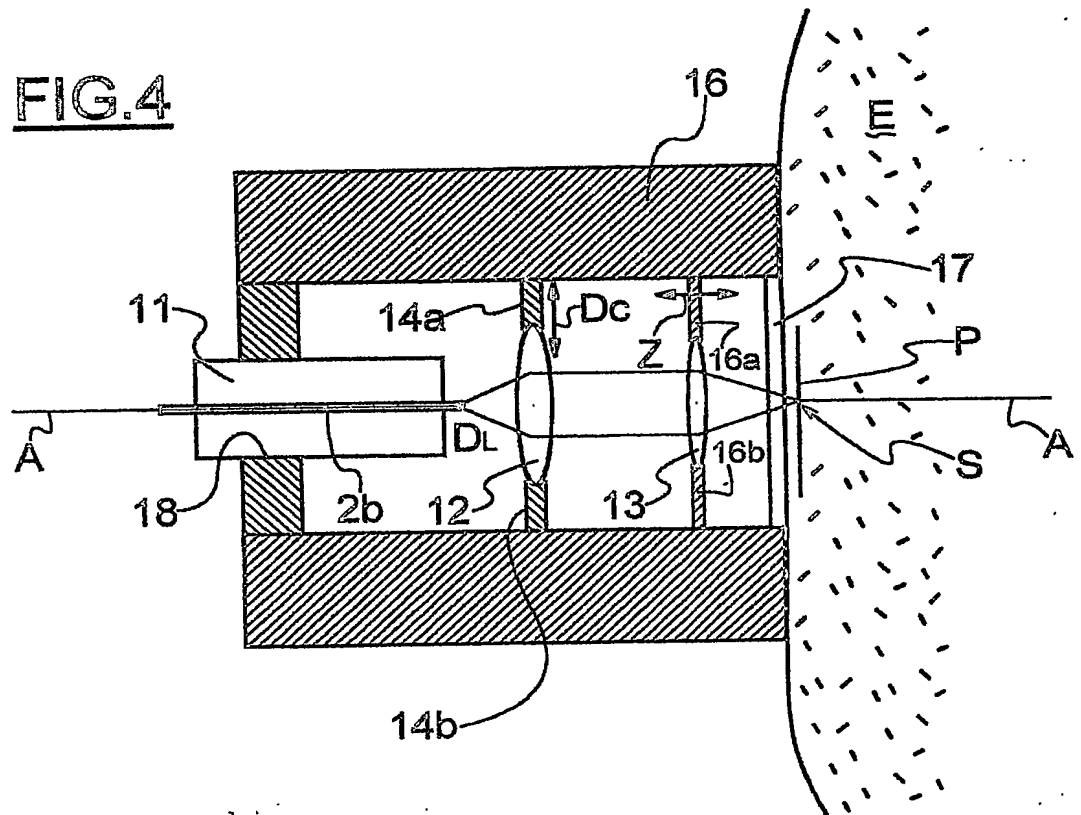


FIG. 4





BREVET D'INVENTION
CERTIFICAT D'UTILITÉ
Code de la propriété intellectuelle - Livre VI


N° 11235*03

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

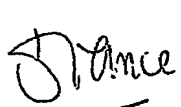
DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1../2..

(À fournir dans le cas où les demandeurs et les inventeurs ne sont pas les mêmes personnes)



Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

09 113 6 W / 27C601

Vos références pour ce dossier (facultatif)		IFB02 MKT TBL
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		0216275
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) " Tête optique confocale, notamment miniature, à balayage intégré et système d'imagerie confocale mettant en oeuvre ladite tête"		
LE(S) DEMANDEUR(S) : MAUNA KEA TECHNOLOGIES Société par actions simplifiée 9 rue d'Enghien 75010 PARIS FRANCE		
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :		
1 Nom		BERIER
Prénoms		Frédéric
Adresse	Rue	66 rue de Strasbourg
	Code postal et ville	91240101 COURBEVOIE
Société d'appartenance (facultatif)		
2 Nom		VIELLEROBE
Prénoms		Bertrand
Adresse	Rue	8 rue d'Estienne d'Orves
	Code postal et ville	914131010 VINCENNES
Société d'appartenance (facultatif)		
3 Nom		GENET
Prénoms		Magalie
Adresse	Rue	2 Square Anne Franck
	Code postal et ville	918121810 GUYANCOURT
Société d'appartenance (facultatif)		
S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez plusieurs formulaires. Indiquez en haut à droite le N° de la page suivi du nombre de pages.		
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire) Le 18 Décembre 2002 Isabelle de Saint Viance CPI 94 10 01 		

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire. Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

reçue le 24/01/03



BREVET D'INVENTION
CERTIFICAT D'UTILITÉ
Code de la propriété intellectuelle - Livre VI


N° 11235°0

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 2../2..

(À fournir dans le cas où les demandeurs et les inventeurs ne sont pas les mêmes personnes)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

08 113 2 W / 2708

Vos références pour ce dossier (facultatif)	IFB02 MKT TBL
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL	0216 279

TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)

" Tête optique confocale, notamment miniature, à balayage intégré et système d'imagerie confocale mettant en oeuvre ladite tête"

LE(S) DEMANDEUR(S) :

MAUNA KEA TECHNOLOGIES
Société par actions simplifiée
9 rue d'Enghien
75010 PARIS
FRANCE

DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :

1	Nom	LACOMBE
	Prénoms	François
Adresse	Rue	2173 avenue Roger Salengro
	Code postal et ville	91237 0 CHAVILLE
Société d'appartenance (facultatif)		
2	Nom	SANTOS
	Prénoms	Pedro
Adresse	Rue	6 rue Larchant
	Code postal et ville	17114 0 SAINT PIERRE LES NEMOURS
Société d'appartenance (facultatif)		
3	Nom	
	Prénoms	
Adresse	Rue	
	Code postal et ville	
Société d'appartenance (facultatif)		

S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez plusieurs formulaires. Indiquez en haut à droite le N° de la page suivi du nombre de pages.

DATE ET SIGNATURE(S)
DU (DES) DEMANDEUR(S)
OU DU MANDATAIRE
(Nom et qualité du signataire)

Le 18 Décembre 2002
Isabelle de Saint Viance
CPI 94 10 01

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☒ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.